

# CeO<sub>2</sub> 对 M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> 激光合金化层的 组织和耐磨性的影响

王 铀 刘家浚

(清华大学机械工程系, 北京 100084)

于宗汉 王长生 李全安

(洛阳工学院机械系)

**提要:** 本文通过对比试验, 研究了 CeO<sub>2</sub> 对 M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> 激光合金化层的显微组织和耐磨性的影响。结果表明: 通过添加 CeO<sub>2</sub> 明显改善了 M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> 激光合金化层的显微组织和耐磨性。

**关键词:** CeO<sub>2</sub>, 显微组织, 耐磨性, 激光合金化层

## Influence of CeO<sub>2</sub> on micro-structure and wear resistance of M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> laser-alloyed layer

Wang You, Liu Jiajun

(Mechanical Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084 PRC)

Yu Zonghan, Wang Changsheng, Li Quanan

(Mechanical Engineering Department, Luoyang Institute of Technology, LuoYang)

**Abstract:** In this paper, the influence of CeO<sub>2</sub> on the microstructure and wear resistance of M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> laser alloyed layer was studied by comparative testing. The results show that significant improvement of microstructure and wear resistance of M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> laser alloyed layer have been achieved by adding CeO<sub>2</sub>.

**Key words:** CeO<sub>2</sub>, microstructure, wear resistance, laser alloyed layer

### 一、引 言

工件表面特性对摩擦磨损过程有深刻的影响, 而激光表面合金化作为一种先进的表面改性技术, 可以通过改变金属表面层的成分、组织和性能来快速形成一层具有一定厚度的新的合金层, 从而能够明显提高金属材料的耐磨性<sup>[1~3]</sup>。

稀土元素在钢中的有益作用已有很多研究报道<sup>[4~6]</sup>。然而, 有关稀土元素在激光表面改性方面应用的工作尚甚少研究。鉴于我国稀土储量较丰富, 所以, 扩大稀土的应用领域, 发掘材料的潜力, 无疑在科学、经济和战略上具有重要的意义。

本文试图通过对比试验, 研究加与不加稀土的 M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> 激光合金化层的组织与耐磨性能, 目

的在于了解稀土元素在激光改性方面的作用,以推进稀土元素在激光表面改性领域中的应用。

## 二、材料及试验方法

本试验采用  $M_{80}S_{20}$  合金粉末<sup>[7]</sup>,含有(Fe, Cr, Ni, W, Mo)<sub>80</sub>(B, Si, C)<sub>20</sub>。先用氧乙炔火焰喷涂方法,将  $M_{80}S_{20}$  合金粉末和加入 8% CeO<sub>2</sub> 的  $M_{80}S_{20}$  合金粉末分别喷涂到 20# 钢基体表面,然后用 CO<sub>2</sub> 激光器对喷涂层进行激光重熔合金化处理。最后进行对比分析试验。

20# 钢基体经过 880°C 加热 30 min 水淬后 180°C 回火 60 min 的热处理,得到 HRC35-45 的低碳马氏体组织。喷涂前对 20# 钢进行清洗、喷砂、预热并喷涂 0.1~0.15 mm 厚的 Ni-Al 结合层,再喷涂 0.6~0.8 mm 厚的工作层。所用粉末粒度均为 -500 目。喷涂设备用 SPHT-6/h 喷涂喷熔两用枪。

在 HGL-81 型横流电激励 CO<sub>2</sub> 激光器上对喷涂层进行激光重熔合金化处理。激光功率为 1.8 kW,采用圆形光束,其光斑直径为 4 mm,激光功率密度约为  $1.43 \times 10^4$  W/cm<sup>2</sup>,激光束斑的扫描速度为 2.5 mm/s,采用单道扫描方式。

用 HX-200 型显微硬度计测量了激光合金化层的显微硬度分布,并用 CSM950 型扫描电镜和 TN-5402 型 X 射线能谱仪分析了激光合金化层的成分和显微组织。

摩擦磨损试验是在 MM-200 型摩擦磨损试验机上进行的,采用块-环接触方式,块状上试样尺寸为  $8 \times 8 \times 18$  mm<sup>3</sup>,以  $8 \times 18$  mm<sup>2</sup> 平面作为工作面激光处理后进行磨削加工。环状下试样采用 GCr15 钢,并事先经过 840°C 盐炉加热 10 min、油淬、180°C 回火 90 min 的普通处理,处理过的环试样硬度为 HRC60~62。摩擦磨损试验规程选为正向载荷 300 N;滑动速度 0.8 m/s,滑动距离 750 m。试验是在室温大气条件下进行的无润滑滑动摩擦磨损。根据摩擦力矩计算出摩擦系数。用 1712MP8 型电子天平称量了上试样磨损试验前后的重量,并以此计算出体积磨损量和磨损率。磨损试验结果均为三个试样的平均值。为进行对比,还对经同普通淬回火处理的 GCr15 钢试样进行了同样规程的摩擦磨损试验。

## 三、试验结果及分析

### 3.1 表面粗糙状况

$M_{80}S_{20}$  合金粉末在熔化状态下具有较大的表面张力,故在钢表面上的浸润性不好,如参数选择不好,则激光束扫过之后容易成珠状,表面质量不易控制。由于稀土元素可提高钢液的流动性,降低钢液的表面张力,从而也可以改善钢的表面粗糙状况<sup>[5]</sup>。所以加入 CeO<sub>2</sub> 的  $M_{80}S_{20}$  激光合金化层的表面要比不加 CeO<sub>2</sub> 的  $M_{80}S_{20}$  激光合金化层的表面要平整光滑,合金层也相应宽些。

### 3.2 激光合金化层的显微组织

图 1 给出了激光合金化表层附近和层与基体交界处的显微组织照片。照片表明:(1)与不加 CeO<sub>2</sub> 的  $M_{80}S_{20}$  激光合金化层相比,加入 CeO<sub>2</sub>  $M_{80}S_{20}$  的激光合金化层的显微组织已明显

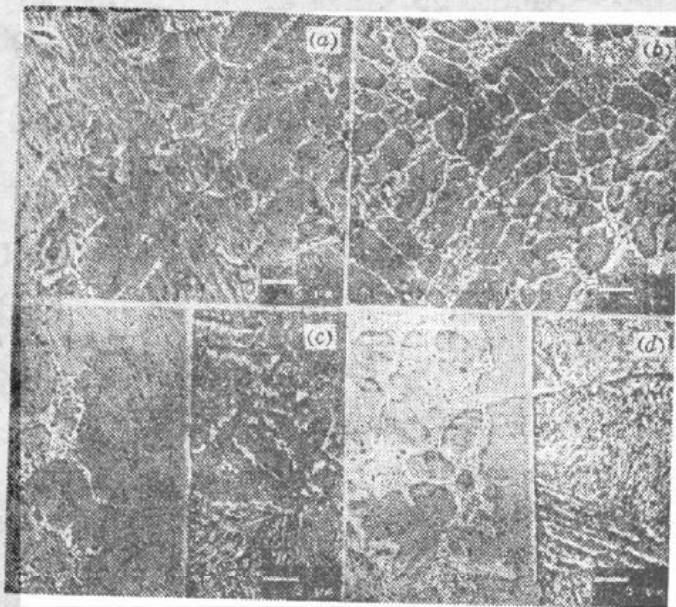


Fig. 1 Microstructure of M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> laser alloyed layer (a), (c) and M<sub>80</sub>S<sub>20</sub>+CeO<sub>2</sub> laser alloyed layer (b), (d). (a) and (b) internal microstructures; (c) and (d) the juncture of laser alloyed layers and substrates

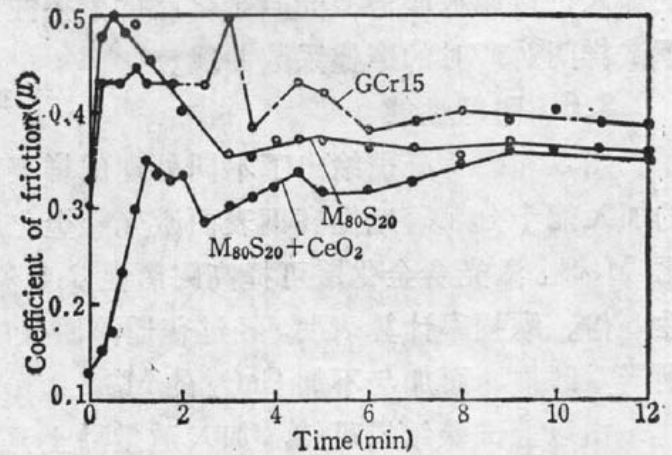


Fig. 2 Friction coefficient curve of different surface layers

细化, 二次枝晶臂间距减小约  $1/3 \sim 1/2$ ; (2) 稀土 CeO<sub>2</sub> 的加入可以改变共晶产物和化合物的形态和分布; (3) 加入 CeO<sub>2</sub> 的结果使组织内的微小孔洞减少了, 提高了合金化层的致密性; (4) 由于晶界和枝晶界的增多, 也略减小了马氏体的尺寸; (5) CeO<sub>2</sub> 的加入还减小了合金化层中与基体交界处的白带层的厚度(由约 15 μm 减至约 7 μm); (6) 明显改变了先结晶相与后结晶相的相对比例。

产生裂纹是激光合金化层中经常遇到的问题, 当加入 CeO<sub>2</sub> 时可以非常有效地抑制热裂倾向。这无疑是由于在加稀土的合金化层中, 于熔池凝固初期就会沉淀出高熔点的稀土化合物, 消除了易产生热裂纹的低熔点共晶物的结果<sup>[8]</sup>。

### 3.3 激光合金化层的能谱分析

加入和不加入 CeO<sub>2</sub> 的 M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> 激光合金化层的能谱分析表明两者有基本相同的元素成分。尽管对激光重熔合金化前的喷涂层所作的测试表明有明显的 Ce 峰(半定量分析指出喷涂层中的 Ce 含量约为 1.52 wt%), 但在激光重熔后, 合金化层中的 Ce 已难于通过能谱检测出来。这也说明 Ce 是作为微量元素在合金化层中起作用的, 当然应考虑合金化时的烧损。但因为稀土原子半径比铁原子半径大许多, 所以, 稀土元素是如何在激光合金化层中起作用的问题还有待深入探讨。

### 3.4 激光合金化层的显微硬度

未加 CeO<sub>2</sub> 的 M<sub>80</sub>S<sub>20</sub> 激光合金化层的显微硬度从与基体交界处的 Hm250 逐渐升至表面处的 Hm450, 加入 CeO<sub>2</sub> 可使得激光合金化层的显微硬度提高, 从交界处的 Hm300 逐渐提高至表面处的 Hm500。这看来主要是 CeO<sub>2</sub> 的加入细化了晶粒的缘故。但不论如何, 这两种激光合金化层的显微硬度都低于激光重熔前的喷涂层的显微硬度, 但激光合金化层的耐磨性却明显高于喷涂层<sup>[9]</sup>。这里激光合金化层的硬度下降可能与非晶颗粒的晶化有关<sup>[9]</sup>。

### 3.5 摩擦系数

图 2 示出了激光合金化层与 GCr15 钢环状试样对磨时的摩擦系数曲线。可以看出,  $CeO_2$  的加入可以明显改善激光合金化层的摩擦性能, 尤其是磨合性能。图中还画出了 GCr15 钢上下试样间对磨时的摩擦系数曲线。

### 3.6 耐磨性能

图 3 和图 4 分别给出了不同处理试样表面层的体积磨损量和磨损率对比图。可见  $CeO_2$  的加入能十分显著地提高钢表面激光合金化层的耐磨性能。与普通淬回火的 GCr15 钢试样相比,  $M_{80}S_{20}$  激光合金化层可提高耐磨性 3.5 倍, 而加  $CeO_2$  的  $M_{80}S_{20}$  激光合金化层可提高耐磨性 8 倍。磨损率计算表明, 经过普通淬回火的 GCr15 钢试样的磨损机制已经从轻微磨损进入到严重磨损, 而加与不加  $CeO_2$  的  $M_{80}S_{20}$  激光合金化层的磨损尚处于轻微磨损范围内<sup>[10]</sup>。

由以上试验结果可知, 加入适量稀土元素进行金属表面激光合金化可以显著改善合金化

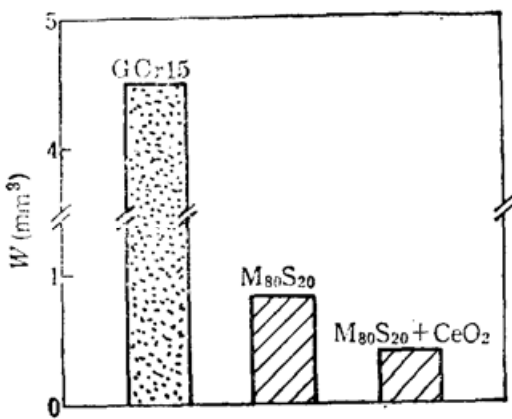


Fig. 3 Wear volume of different surface layers

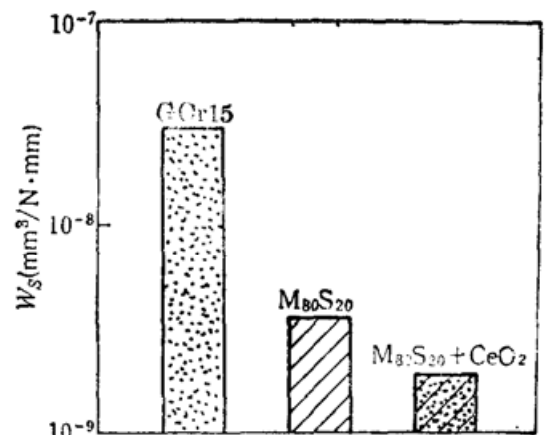


Fig. 4 Wear rate of different surface layers

层的组织和性能。尽管目前对激光合金化层中的稀土作用机制等问题还不十分清楚, 但通过以上所做的单一稀土加入量而又未调整激光参数的试验已显示出了稀土元素对激光合金化层的有益作用。因此, 将稀土元素引入到激光合金化表面改性技术中是一个很有发展前途的领域, 其学术价值和应用价值都是很大的。

本工作得到了北京中关村地区联合分析测试中心基金和清华大学摩擦学国家重点实验室摩擦学基金的资助, 工作中还得到了北京钢铁研究总院张晋远、柳春兰、艾宝仁、朱瑞珍等同志的大力支持和协助, 作者在此一并表示衷心感谢。

### 参 考 文 献

1. C. W. Draper *et al.*, *International Metal Reviews*, **30**(2), 85(1985)
2. A. Galerie *et al.*, *Materials Science and Technology*, **5**(8), 806(1989)
3. T. Bell, *Surface Eng.*, **3**(4), 271(1987)
4. 余宗森 *et al.*, 钢中稀土, 冶金工业出版社, 1982, 200~316
5. 余景生 *et al.*, 稀土在钢铁中的应用, 冶金工业出版社, 1987, 3~19
6. P. E. Waudby, *International Metal Reviews*, **23**(2), 74(1978)
7. J. Y. Zhang *et al.*, "Rapidly Solidified Materials", edited by P. W. Lee and R. S. Carbonara (ASM, 1986)179~186
8. R. P. Sopher, *Welding*, **37**, 481(1958)
9. 王铀 *et al.*, 中国稀土学报, (待发表)
10. 王铀 *et al.*, 金属科学与工艺, **7**(4), 13(1988)